

STUDIER ÖVER KOLSYREHUSHÅLLNINGEN I MOSSRIK TALLSKOG

STUDIEN ÜBER DEN KOHLENSÄUREHAUSHALT IN MOOSREICHEM KIEFERNWALD

AV

LARS-GUNNAR ROMELL

EN NITRITBAKTERIE UR SVENSK SKOGS- MARK

UN FERMENT NITREUX FORESTIER

AV

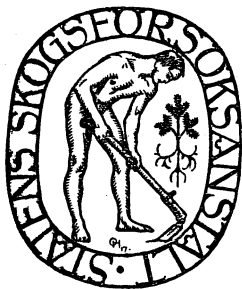
LARS-GUNNAR ROMELL

MARKLUFTSANALYSER OCH MARK- LUFTNING

SOIL AIR AND SOIL AERATION

AV

LARS-GUNNAR ROMELL



MEDDELANDEN FRÅN STATENS SKOGSFÖRSÖKSANSTALT
HÄFTE 24 · Nr 1—3

MEDDELANDEN

FRÅN

STATENS
SKOGSFÖRSÖKSANSTALT

HÄFTE 24. 1927—28

MITTEILUNGEN AUS DER
FORSTLICHEN VERSUCHS-
ANSTALT SCHWEDENS

24. HEFT

REPORTS OF THE SWEDISH
INSTITUTE OF EXPERIMENTAL
FORESTRY

N:o 24

BULLETIN DE L'INSTITUT D'EXPÉRIMENTATION
FORESTIÈRE DE LA SUÈDE

N:o 24



REDAKTÖR:
PROFESSOR DR HENRIK HESSELMAN

INNEHÅLL:

	Sid.
ROMELL, LARS-GUNNAR: Studier över kolsyrehushållningen i moss-rik tallskog	I
Studien über den Kohlensäurehaushalt in moosreichem Kiefernwald	35
— En nitritbakterie ur svensk skogsmark	57
Un ferment nitreux forestier	63
— Markluftsanalyser och markluftning	67
Soil Air and Soil Aeration	76
TIRÉN, LARS: Einige Untersuchungen über die Schaftform	81
Några undersökningar över stamformen	150
— Till frågan om tallstammens avsmalning och volymbekän- räkning	153
To the Question of Tapering and Volume Calculation of Pine Trunks	160
PETRINI, SVEN: Sektionskuberingens noggrannhet	164
Die Genauigkeit der sektionsweisen Kubierung	181
— En närmeformel för kubering av träd	187
Eine Näherungsformel für Stammkubierung	212
SPESSIVTSEFF, PAUL: Studier över de svenska barkborrarnas biologi särskilt med hänsyn till generationsväxlingen. Del I.	221
Studien über die Biologie der Borkenkäfer Schwedens mit besonderer Berücksichtigung der Generationsfrage. Erster Teil	244
MALMSTRÖM, CARL: Våra torvmarker ur skogsdikningssynpunkt ...	251
Our Peat Areas from the Point of Forest-draining	352
Redogörelse för verksamheten vid Statens skogsförsöksanstalt under år 1927. (Bericht über die Tätigkeit der Forstlichen Ver- suchsanstalt Schwedens im Jahre 1927; Report on the Work of the Swedish Institute of Experimental Forestry).	
Allmän redogörelse av HENRIK HESSELMAN	373
I. Skogsavdelningen (Forstliche Abteilung; Forestry division) av HENRIK PETTERSON	373
II. Naturvetenskapliga avdelningen (Naturwissenschaftliche Abteilung; Botanical-Geological division) av HENRIK HESSELMAN	379
III. Skogsentomologiska avdelningen (Forstentomologische Abteilung; Entomological division) av IVAR TRÄGÅRDH	380
IV. Avdelningen för förnyingsförsök i Norrland (Abtei- lung für die Verjüngungsversuche in Norrland; Division for Afforestation Problems in Norrland) EDVARD WIBECK	381
Sammanfattning av arbetsprogrammet för åren 1927—1931	386
Zusammenfassung des Arbeitsprogrammes für die Jahre 1927—1931	



MARKLUFTSANALYSER OCH MARKLUFTNING.

1. Några kompletterande analyser från ljunghed.

I förf:s arbete från 1922 om luftväxlingen i marken förekommo även analyser av ett fyrtiotal prov ur dåliga halländska ljunghedar, tagna dels på våren, dels i början av september. Proven visade i allmänhet ingen avsevärd syrebrist, ej heller de i början av september efter en ovanligt regnrik augusti tagna. På två lokaler, där marken var särskilt våt och vilka redan genom sin vegetation (*Scirpus cæspitosus*) visade sig mera fuktighetsbetonade, uppträdde likväl i enstaka fall betydliga syreunderskott. Mina slutsatser av materialet (a. st. sid. 212, 226—229) kunna sammanfattas så, att ljungråhumusen knappast intar en särställning, utan förhåller sig som annan råhumus, d. v. s. icke i och för sig är något hinder för markens genomluftning, men att den kan vara det i fuktigt tillstånd, kanske redan vid en ringare grad av genomblötning än vanlig råhumus.

Det har ansetts föreligga anledning att återkomma till denna fråga särskilt på grund av den ståndpunkt, som den nordiska skogliga markforsknings storman, P. E. MÜLLER, 1924 intog i sin avhandling om jylländska hedar. Han diskuterar där (sid. 76—79) utförligt och mycket erkännande min ovannämnda avhandling, men fäster sig mest vid mina reservationer och är benägen att fortfarande tämligen generellt betrakta ljunghedarna som dåligt genomluftade marker.

Förliden sommar utförde jag därför några kompletterande undersökningar, som förlades till en ljunghed nära Glamshult i Vrå socken. Heden¹ är ett representativt exempel på de sämre delarna av det stora ljunghedskomplex, som i den ifrågavarande trakten utbreder sig på ömse sidor om gränsen mellan Halland och Småland. Ljunghedens typ är å de undersökta lokalerna lavrik eller naken (ren ljunghed, nästan utan bottenskikt). Markprofilen visar en mäktig, kompakt ljungråhumus, påminnande om

¹ En närmare beskrivning av lokalen ur botanisk och geologisk synpunkt kommer att publiceras i en beskrivning, som förberedes vid Statens Skogsförsöksanstalt, över Tönnersjöhedens försökspark jämte en del andra marker i samma trakt.

danskarnas Lyngskjold, och därunder en mäktig, kraftigt humusimpregnerad, svart blekjord, som även den gör ett tätt och kompakt intryck. Terrängen är flack, dock svagt kullig. Heden är genom Svenska Skogs-sällskapet försorg för några år sedan planterad med tall. Kulturerna förete på det hela ett bedrövligt utseende. Tallplantorna tyna och dö massvis. Anledningen är obekant, men måste förläggas till marken.

På några av de uslaste ställena å den nämnda ljungheden togos mark-luftsprov och analyserades med användning av den i min avhandling 1922 (sid. 180—188) beskrivna metodiken, blott med användning av ett annat exemplar av KROGHS mikroluftanalysapparat med vidare kapillär (0,5 mm). Proven togos längs några godtyckligt utlagda linjer, övertvärande de sämsta fläckarna av heden, med ett avstånd av 10 steg mellan provpunkterna. Å varje punkt togos två prov, ett å 10 cm, ett å 20, 30 eller 40 cm djup. De undersökta proven härstamma från tre olika insamlings-tillfällen, den 17, 23 och 29 september 1927. Lokalerna valdes denna gång så, att de icke representera någon mer eller mindre försumpad ljunghedstyp (en av linjerna gick likväl alldeles intill kanten av en liten mosse). Avsikten med de kompletterande analyserna var ju att söka få hållpunkter för om även å oförsumpade ljunghedar av dålig typ bristande genomluftning i marken under fuktiga perioder kan vara en bidragande orsak till det i åtskilliga fall dåliga tillståndet.

Trakten är nederbördsrik, ja representerar troligen ett lokalt nederbördsmaximum. Tyvärr fanns under undersökningstiden ännu ingen nederbördsstation i närheten. Eftersommaren i år var regnrik. Nederbördens mängd var i Halmstad under augusti 144,5 mm eller 139 % av den normala, under september 98,7 mm eller 138 mm av normalnederbörd. Förutsättningarna voro således gynnsamma för uppkomsten av höga värden av syrebrist i marken, enär fuktigheten var relativt hög och samtidigt sommartemperatur rådde.

Likväl träffades i intet av de till ett femtiotal uppgående proven någon anmärkningsvärdare syrebrist. I samtliga prov utom ett ligger syrehalten över 18,5 % syre; i ett är den 17,0 %; se vidare tab. 1. Det kanske bör påminnas om att atmosfärens normala syrehalt är omkring 21 %.

De funna värdena av kolsyrehalt (Tab. 2) motsvara ungefär de värden som man kunnat vänta sig vid de funna syrehalterna.

Om man jämför analysvärdena med mina tidigare värden från dåliga ljunghedar, finner man, att de stämma väl överens, om man bortser från de enstaka värden bland mina tidigare siffror, som härstamma från fuktighetsbetonade lokaler och där marken vid provtagningstillfället var så våt, att det uppsugna provet bestod av en blandning av luft och jordblandat vatten. Några dylika prov erhöles ej i den föreliggande serien.

Tabell 1. Analysresultat. De undersökta markluftsprovns fördelning på klasser av syrehalt (volymprocent).

Table 1. Distribution of analyzed samples of soil air in classes of O₂ content.

% O ₂	17,0	18,5	18,6	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,5	19,6	19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	20,2	20,3	Σ
17/9 { 10 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	2	—	1	—	—	—	—	5
20 »	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	3	—	—	—	1	—	—	5
23/9 { 10 »	—	—	—	—	—	—	2	1	—	—	—	2	1	2	—	—	—	1	1	—	10
20—30 cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	3
40 cm	—	—	1	—	—	1	—	1	1	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	6
29/9 { 10 »	1	1	—	2	—	—	—	1	1	—	1	—	2	—	—	—	1	—	—	—	10
40 »	—	—	2	—	—	1	—	1	—	—	1	3	—	—	—	—	—	—	—	1	9
Σ	1	1	3	2	0	2	2	4	2	1	3	6	5	7	0	1	2	3	2	1	48

Tabell 2. Analysresultat. De undersökta markluftsprovns fördelning på klasser av kolsyrehalt (volymprocent).

Table 2. Distribution of analyzed samples of soil air in classes of CO₂ content.

% CO ₂	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Σ
17/9 { 10 cm.	—	1	—	—	1	2	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	5
20 »	—	—	1	—	—	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
23/9 { 10 »	—	—	2	—	3	1	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	10
20—30 cm	1	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
40 cm	—	—	2	1	1	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	6
29/9 { 10 »	—	1	1	—	—	1	—	4	—	—	—	1	1	—	—	1	10
40 »	1	—	—	—	2	1	1	2	2	—	—	—	—	—	—	—	9
Σ	2	2	6	2	8	9	5	7	4	0	0	1	1	0	0	1	48

Å en punkt var visserligen marken så våt, att svart jordvälling kom i stället för luft vid sugningen, men denna var så tjock, att röret täpptes och intet prov kunde tagas. Vid förnyad nedstickning av sonden å en fläck strax intill kom endast luft, som ej visade någon anmärkningsvärd syrebrist.

Några hållpunkter för den åsikten, att även i oförsumpade ljunghedar dålig genomluftning i marken skulle vara att räkna med som en viktig faktor, har sålunda den föreliggande lilla kompletteringen lika litet som mina tidigare undersökningar givit. Ej heller föreligga några exakta dylika hållpunkter, såvitt jag vet, på annat håll. Å andra sidan vågar jag ej påstå, att den ståndpunkt, som intagits av GRÄBNER, P. E. MÜLLER m. fl., blivit definitivt gendriven genom ALBERTS och mina egna undersökningar, detta av skäl som skola framläggas i avdelning 2.

Vad det undersökta speciella fallet — den dåliga ljungheden i Vrå — beträffar, är det tydligt, dels att det är något fel med marken, dels att de för tallplantorna ogynnsamma markfaktorerna i det väsentliga bortfalla, när ett annat humustillstånd inträtt. Blott en landsväg skiljer nämligen den dåliga ljungheden med dess misslyckade planteringar från ett medelålders tallbestånd med mycket vacker underväxt av gran, uppkommet på, såvitt man kan döma, från början samma slags mark. Man synes ha skäl att hoppas, att en motsvarande förbättring av sig själv småningom skall inträda på den nu kala ljungheden, om blott ett första trädbestånd, om än dåligt, en gång kan fås att komma upp. Det bekymmersamma ligger däri att de utsatta tallplantorna icke blott växa dåligt — då kunde man nöja sig med att se tiden an — utan på de svårare fläckarna i stor utsträckning gå ut. Ser man till hur avdöendet förlöper, finner man att plantorna torka först på vindsidan (västsidan) och i toppen ned till en nivå som synes motsvara vindskyddet från ljungen. Avdöendet är vidare särskilt lokaliserat till västsidan av de små kullarna å heden. Östsidorna äro genomgående betydligt bättre och se bitvis relativt lovande ut. Förefintliga insektskador ge intryck av att vara helt och hållet sekundära. Tallplantorna synas alltså akut dö av uttorkning genom vinden. Att så är fallet beror å andra sidan troligen på att rötterna av någon anledning ej utvecklas eller ej fungera så som de skulle. Som en orsak härtil *kan* man naturligtvis tänka på dålig genomluftning, men likaväl på andra ogynnsamma faktorer i marken. Det synes mig riktigare att tillsvidare hellre söka efter dessa andra faktorer, särskilt därför att en dylik inriktning kan förväntas ge nya uppslag och erfarenheter som äro mer värda än den magra tillfredsställelsen med en förklaring som tills vidare varken kan bekräftas eller vederläggas (jfr nedan).

2. Markluftens syrehalt som mått på markluftningen.

Som jag påpekade i min tidigare markluftsuppsats (1922, s. 233) kan man sammanfatta resultaten av alla mina bestämningar av markluftens sammansättning i olika slags marker på så sätt, att det endast är i våt mark, som avsevärda syreunderskott träffas. Man kan precisera detta därhän, att det praktiskt taget undantagslöst är i sådana prov, där vid provtagningen erhållits en blandning av vätska och luft, som avsevärd syrebrist kunnat påvisas. I praktiskt taget alla andra fall har markluften visat sig ha en syrehalt, som endast obetydligt, från några bråkdelar av en procent upp till ett par procent, avviker från atmosfärens normala (21 %).

En enkel och osökt förklaring härtill ligger såsom påpekat i min tidigare avhandling däri att diffusionshastigheten för syre i vatten endast är omkring tiotusendelen av vad den är i luft. Härtill kommer att gränssytan mellan vätske- och gasfas är sätet för ett övergångsmotstånd, vars storlek ej synes vara känd för syre, men som säkerligen även för denna gas är avsevärt (jfr angående detta övergångsmotstånd ROMELL 1926 sid. 130—131, 137—139). Vid stigande vattenhalt i jorden fyllas allt flera och större partier av jordens förut luftfyllda porsystem med vätska. Somliga förgreningar av detta porsystem bli helt vätskefyllda, andra bli, företrädesvis å förträngda ställen, blockerade av vätska, så att en del gasvolymmer bli avspärrade från direkt förbindelse med atmosfären. Dessa gasvolymers gasutbyte måste försiggå genom förmedling av de spärrande vätskepropparna och markkolloiderna och vara ytterligt försvårat dels på grund av det höga diffusionsmotståndet i dessa, dels på grund av det nämnda övergångsmotståndet, som i detta fall blir dubbelt (man har att räkna med ett dylikt övergångsmotstånd både vid upplösning och vid frigöring av en gas i beröring med en vätska). Det är ytterst sannolikt, att det är dylika avspärrade gasvolymmer, som visat de påfallande låga värdena av syrehalt i mina analyser. Man torde därför kunna sammanfatta resultaten av samtliga mina jordluftsanalyser på så sätt: luften i de större eller mindre porer i jorden, som stå i direkt förbindelse med luften, brukar ha en syrehalt som obetydligt understiger atmosfärens normala, hur än marken är beskaffad; avsevärda syreunderskott uppträda däremot ofta i luftvolymmer som av vatten avspärrats från direkt kommunikation med luften.

I min uppsats från 1922 hänvisades på (sid. 161) att det finns skäl för att som RUSSELL & APPELYARD tala om »två atmosfärer» i marken, en syrerik, den som finnes i luftgångarna, och en syrefattigare, den som

är löst och sorberad i jorden. Att kalla den sista en atmosfär är visserligen oegentligt. Urskiljandet av de två atmosfärerna i jorden har emellertid fördelen att pregnant uttrycka en sak, som får anses som ett experimentellt konstaterat faktum och som f. ö. rent teoretiskt är att förutse, nämligen att även i en jord, som innehåller mer eller mindre rikligt med luftgångar, fyllda med praktiskt taget normalt syrehaltig luft, områden med syreunderskott kunna förekomma, ja måste förekomma. Hur höga värden syreunderskotten uppnå inom dessa områden beror dels på omsättningarnas livlighet, dels på dimensionerna hos de partier, som ligga emellan luftgångarna. Även i den bäst genomluftade jord förekomma helt säkert lokala syrebristcentra (jfr a. st. s. 161). Ju glesare luftgångarna ligga, dess större bli områdena med sämre genomluftning och ju större måste syrebristen bli inom dylika områden, om omsättningshastigheten är jämförlig.

Analysen av luften i markens luftfyllda porer säga naturligtvis intet annat än hur hög syrehalten är i dessa porer. Då nu efter alla teoretiska såväl som experimentella hållpunkter det huvudsakliga motståndet för syretransporten från atmosfären till de syreförbrukande organismerna i jorden i de allra flesta praktiskt förekommande fall icke kan anses ligga i luften i porerna, utan i fortsättningen av transportvägen, kan mycket väl av två jordar, som visa lika hög syrehalt i markluften, den ena vara som helhet väl genomluftad vid undersökningstillfället, men den andra dåligt. Allt beror på hur rikligt förgrenat systemet av sammanhängande luftgångar är. Varken jordens porositet, luftkapacitet (jfr nedan) eller ens volymen luftfyllda porer för tillfället kan användas som uttryck för detta. Vad den sista punkten beträffar, är det tydligt, att en viss porvolym kan vara fördelad på högst olika sätt, dels i grövre och finare sammanhängande luftgångar, dels i form av avskilda gasvolymmer, vilkas effekt ur genomluftningssynpunkt måste vara minimal i jämförelse med de sammanhängande luftgångarnas.

Från ekologisk synpunkt är det visserligen, såsom jag framhöll 1922 sid. 161, antagligt att de i jorden levande organismerna och organen i rätt stor utsträckning ha förmåga att inom en viss rayon uppsöka områden med tillräcklig syrehalt, rötterna och troligen svampmycelierna genom sin aerotropiska känslighet, bakterierna genom utbildning av rörliga stadier. Å andra sidan vet man nu, att jordens normala bakterieflora består praktiskt taget uteslutande av halvinkapslade, orörliga former. Vidare måste de syrekrävande omsättningarna i jorden kunna uppnå en betydligt större intensitet, pr volymenhet jord räknat, om tillräcklig syretillgång finnes på praktiskt taget alla punkter i jorden, än om det finnes stora syrefattiga områden, där omsättningarna äro hämmade.

Graden av genomluftning hos en jord borde därför uttryckas genom en kurva, som anger fördelningen av punkterna i jorden på olika klasser av genomluftningssvårighet, alltså exempelvis med % av jordens volym som abskissa och som ordinata ett mått på motståndet för syretransporten. Som relativt dylikt mått kunde troligen begagnas helt enkelt avståndet till närmaste luftgång i jorden. Att uppgöra dylika kurvor vore emellertid av lätt insedda skäl mycket svårt. Härtill skulle fordras att man hade till sitt förfogande exempelvis mikrofotografier av tvärsnitt av jorden i dess naturliga lagring, även med vattnets fördelning i jorden oförändrad. Att åstadkomma något dylikt förefaller emellertid som ett olösligt problem. Det är även att märka, att dylika kurvor, för att de skulle ha något större värde, skulle behöva uppgöras för en mängd olika vattenhalter, ty varje kurva kan endast återge förhållandena för en viss jord vid en viss bestämd vattenhalt. Det som är ekologiskt viktigt, är hur lätt en jord kommer i ett sådant tillstånd, att genomluftningen blir dålig, eller rättare hur ofta detta under naturliga förhållanden sker och hur långvariga perioderna med dålig genomluftning äro. Varje jord är dålig genomluftad när dess porer äro helt vattenfyllda. Många jordar äro dåligt genomluftade till stora delar när de äro mättade med vatten till ett belopp motsvarande deras s. k. absoluta vattenkapacitet, andra däremot under samma förhållande relativt väl genomluftade. Som mått på dessa skillnader har man velat särskilt rekommendera den s. k. luftkapaciteten (jfr BURGER 1922, 1927) d. v. s. den volymprocent luft, som jorden håller, när efter dennas fullständiga vattenmättning överskottsvattnet fått avrinna. Det är möjligt att luftkapaciteten i praktiken är användbar som mått på genomluftningen. Teoretiskt är den emellertid ej tillfredsställande, ej ens för det speciella, relativt väldefinierade tillstånd hos jorden, som bestämningarna avse. Luftkapacitetssiffrorna ange helt enkelt den relativa volymen hos de grövsta luftgångarna. Men dessa kunna vid en och samma luftkapacitet vara olika rikt förgrenade. Bäst genomluftad vid vattenmättning till ett belopp motsvarande den »absoluta vattenkapaciteten» måste en jord vara, där den »luftkapaciteten» motsvarande gasvolymen är fördelad på ett stort antal med varandra kommunicerande gångar av nätt och jämnt den grovlek, att de ej förmå kapillärt hålla sig fyllda med vatten. Är samma gasvolym fördelad på ett färre antal grövre gångar måste jorden som helhet vara sämre genomluftad och ännu sämre om de befintliga luftvolymerna i avsevärd utsträckning äro instängda av vätska.

En verkligt tillfredsställande behandling av frågan om markens genomluftning erbjuder alltså många, hittills ej beaktade svårigheter. För dessa svårigheter bör man å andra sidan ej glömma bort den kunskap, som

hittills gjorda undersökningar ha gett oss. Mina och andra liknande undersökningar visa visserligen endast, att det finnes en nära nog normalt syrerik luft i porerna i allehanda ej alltför våt jord, exempelvis i normal skogsråhumus. Redan detta är likväl en praktiskt intressant upplysning, ty det visar, att genomluftningen i denna jord är praktiskt taget lika god eller lika dålig som om jorden med oförändrad struktur och vattenhalt vore utbredd i en tunt skikt i luften. Mina analyser visa ytterligare, att en normal råhumus ej nämnvärt hämmar de underliggande jordlagrens gasutbyte. Detta resultat, som står i strid med en före min uppsats 1922 mycket utbredd mening, synes bekräftas av de av TAMM (1925) utförda analyserna av grundvatten i norrländska råhumusklädda moräner. Man har alltså ingen anledning att anta, att en ytlig markbearbetning — sådan som kan förekomma i skogen — kan nämnvärt inverka på skogsmarkens genomluftning annat än möjligen därigenom att råhumustäcket eller åtminstone de uppkastade torvorna efter markbearbetningen i genomsnitt hålla sig något torrare än förut.

P. E. MÜLLER framför (sid. 79) som ett huvudargument emot antagandet att råhumusmarkerna redan i naturligt skick äro väl genomluftade den bekanta erfarenheten, att markbearbetning ofta verkar gynnsamt. Han anser, att denna effekt ej kan tillskrivas någon annan förändring än en livligare genomluftning. Härtill bör svaras tveegghanda.

Å ena sidan kan efter vad ovan blivit anført en markbearbetning, som ej ändrar jordens finstruktur, d. v. s. söndersmular jordpartiklarna o. s. v., icke åstadkomma någon anmärkningsvärd förbättring av genomluftningen på annat sätt än att vattenhalten minskas eller vattnets fördelning ändras. Det är ju visserligen troligt, att detta sker i viss mån åtminstone vid en grundligare markbearbetning. Porositeten, vid vilken P. E. MÜLLER lägger huvudvikten, måste emellertid vara utan direkt betydelse. Det måste, som ovan anført, vara de luftfyllda porernas förgrening i jorden, varpå det i huvudsak kommer an.

Å andra sidan är en effekt av markbearbetning tänkbar utan att genomluftningen på minsta sätt ändras. Även i s. k. spontankulturer med sållad jord i ett idealiskt fysikaliskt tillstånd har man funnit det fördelaktigt att då och då ånyo blanda jorden i petriskålen. I detta fall kan jag med bästa vilja omöjligen föreställa mig, att »markbearbetningens» betydelse ens till någon del skulle ligga i en ökad genomluftning. Den kan i stället osökt sättas samman med jordens heterogenitet. Även den bäst blandade jord är mikroskopiskt taget heterogen. Näringsämnen för de olika organismerna finnas i överflöd på somliga punkter, saknas på andra. Lämnas jorden i ro, uppkomma mikroskopiska byar och städer av olika organismer på för dem gynnsamma lokaler, men helt säkert ej

på alla tänkbara. Efter någon tid måste den vilande jorden förete bilden av förr blomstrande, nu av brist på näring tynande kulturer sida vid sida med oupptäckta, outnyttjade, gynnsamma områden. En omblandning av jorden kommer under sådana omständigheter att medföra en effekt inom jordens mikrokosm, som lämpligen kan jämföras med den som de stora folkvandringarna medfört i människornas värld.

Även en markbearbetning av den ofullständiga art, som åstadkommes i skogen med de brukliga redskapen, kan tänkas medföra något liknande. Det är, såsom redan framkastats av HESSELMAN (1917 sid. 974—977; jfr även ROMELL 1922 sid. 222—223), möjligt att den gynnsamma effekten beror på att tillgången på närsalter ökas i råhumusen genom den partiella blandningen eller övertäckningen med mineraljord. Om detta är riktigt, skulle en mot markbearbetningen svarande effekt kunna nås genom att sprida ut mineraljord över det orörda humustäcket. Det vore ur flera synpunkter intressant, om ett dylikt försök bleve utfört.

Till slut må anmärkas, att markvattnet helt säkert är mera representativt för marken — eller ett visst markskikt — som helhet än vad markluften är. I alla sådana marker, där man kan erhålla prov på markvattnet för analys på syre, bör man således ganska enkelt kunna skaffa sig en viss uppfattning om den allmänna syretillgången i jorden.

Litteratur.

- BURGER, H., 1922, Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. I. — Mitt. d. Schweizer. Centr.-Anst. f. d. forstl. Versuchswesen 13, p. 1.
 — 1927, Idem II. — Ibidem 14, p. 201.
 HESSELMAN, H., 1917, Om våra skogsföryngringsåtgärders inverkan på salpeterbildningen i marken och dess betydelse för barrskogens föryngring. (Summary: On the Effect of our Regeneration Measures on the formation of Saltpetre in the Ground and its Importance in the Regeneration of coniferous Forests). — Dessa Meddelanden (these Reports) 13—14, p. 923 (XCI).
 MÜLLER, P. E., 1924, Bidrag til de jydske Hedesletters Naturhistorie. (Résumé: Études relatives à l'histoire naturelle du sol des landes à bruyère du Jutland, recherches pédologiques). — Kgl. Danske Vid.-Selsk. Biol. Medd. 4: 2, København.
 ROMELL, L.-G., 1922, Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor. (Résumé: Die Bodenventilation als ökologischer Faktor). — Dessa Meddelanden (these Reports) 19, p. 125.
 — 1926, Über die Bedingungen des Kohlensäuretransports zu den Chloroplasten. — Flora 121 (N. F. 21), p. 125.
 TAMM, O., 1925, Grundvattensrörelser och försumpningsprocesser belysta av grundvattnets syrehalt i nordsvenska moräner. (Résumé: Grundwasserbewegungen und Versumpfungsprozesse, durch Sauerstoffanalysen des Grundwassers nordschwedischer Moränen erläutert). — Dessa Meddelanden (these Reports) 22, p. 1.

SUMMARY.

Soil air and soil aeration.

1. Some complementary analyses from heathland.

The author's earlier (1922) analyses of the soil atmosphere in heath showed a marked deficiency in oxygen only in some samples from two localities where the soil was very wet. Thus the results obtained in heath soil agreed with the general result of the author's investigations of the subject. Indeed, an atmosphere of very nearly normal O_2 -content was found everywhere in Swedish forest soils, except in somewhat swampy localities having a very wet soil. Contrary to current opinions, this also holds true for soils with a very heavy raw humus layer.

The complementary analyses reported in the present paper were carried out in order to ascertain whether further analyses of the soil atmosphere in heath, undertaken during a rainy season, could give any support to the view that heathland generally possesses a badly aerated soil. As is well known, this opinion has been held by GRÄBNER and others and was entertained recently by the late P. E. MÜLLER, the distinguished Danish pedologist.

The locality chosen for the researches is a heath near the village of Glams-hult in the parish of Vrå, province of Småland, but close to the border of Halland, in the southwest of Sweden. The heath forms part of a large tract of moorland covering most of this region and is representative of the poorest parts of this tract. The type of heath vegetation in the locality chosen is »lichen-rich» or »pure ling-heath». The topography is rather flat. The soil profile shows uppermost a heavy layer of very compact heath raw humus which is continued beneath by a black layer of strongly humus-impregnated mineral earth. This layer, too, gives the impression of being very dense. A more detailed botanical and geological description of the locality will appear in an account of the experimental forest Tönnersjöheden and some adjacent tracts which is under preparation at the Institute of Experimental Forestry.

The heath was planted with pine some years ago under the auspices of the »Svenska Skogssällskapet» (a private society for the afforestation of waste land), but with a very poor result. The young pines are starving, and a great many of them die. The dying pines dry out first on the west side (wind side) and from the top down to a level with the tops of the heather bushes. The mortality is also more pronounced on the west than on the east slopes. The immediate cause of the plants perishing seems consequently to be dessication by the wind. The primary cause, however, seems to lie in the ground. In some places, e. g. close to the roads, where the young pines look healthier and better, they do not seem to suffer from the wind. Close to the bad heath and separated from it only by a road, there is a rather healthy-looking pine stand with undergrowth of well-growing young spruces. Here the soil has changed into a relatively normal forest soil. It seems probable that in the bad heath the development or the proper functioning of the pine roots is interfered with by certain adverse soil conditions, maybe by a poor soil ventilation, according to the views of a number of authorities.

The fact that the region has a very heavy rainfall would tend to support this idea.

On three different days last September samples of soil air were collected along some straight lines laid out in the most inferior-looking parts of the heath, with plenty of dead and dying pines. The season was rainy. The precipitation in Halmstad last year was in August 139 % and in September 138 % of the average figures for these months respectively. The conditions were consequently such that high figures of oxygen-deficiency might be expected, if such occurred at all. The minima of oxygen in the soil atmosphere are generally found — according to all previous experience — when the soil is wet and at the same time the temperature is not too low.

Tables 1 and 2 show the results of the analyses.¹ It is seen that all samples but one contain 18,5 % oxygen or more. A single analysis has given as low a value as 17 % oxygen. The figures of CO₂ content are much of the height that could be expected from the O₂ content (cf. ROMELL 1922, p. 332, 350).

Any remarkable oxygen deficiency was, then, nowhere to be recorded. It should be noted that at one spot it was impossible at the first attempt to draw air out of the soil because the tube was clogged up by a black slushy fluid. The soil was consequently rather wet. Nevertheless, at the second attempt, some decimeters away on the same spot, the aspiration was easy and the air sample showed no marked deficiency in oxygen.

The results of the new analyses agree with the earlier ones if the older values from wet, almost swampy localities are not taken into consideration.

2. The oxygen content of the soil air as a measure of the aeration of the soil.

The general result of my earlier and present analyses of soil air from different types of Swedish forest soils is, as already stated, that a marked deficiency in oxygen is practically never met with except on somewhat swampy ground with a wet soil. The result may be more exactly expressed if we say that it is only in cases when the air sample taken does not consist of pure gas, but is mixed with fluid or slush, that remarkably low values of oxygen content are recorded. In the same soils quite normal values of oxygen content are regularly recorded from samples consisting of pure gas. These experimental facts seem to show that in practically every soil the continuous gas-filled interstices communicating with the free atmosphere have an almost normal O₂-content. The samples showing a marked oxygen deficiency most probably represent gas volumes that were already in the soil surrounded by fluid and not in gaseous communication with the atmosphere.

Does this imply that every soil except the very wettest, where the continuous gas-filled pores are almost or entirely lacking, is almost equally well aerated? Certainly not.

One of the most characteristic features of the soil is its heterogeneity. Even in the best aerated soil there are centres with a much lower oxygen pressure

¹ The determinations were made by means of a KROGH micro-analysis apparatus with a capillary tube of 0,5 mm diameter. The technique for collecting the samples &c. was the same as in the author's earlier researches (1922 p. 347).

than that of the air in the pores. That this must be the case is readily understood from the relatively very high diffusion resistance encountered by the oxygen within the fluid — and colloidal — phase, to which should be added the resistance at the limiting surface between the phases.¹ RUSSELL & APPELYARD (1915) are right in emphasizing the existence of »two atmospheres» in the soil, one rich and one poor in oxygen, though it does not seem exact, from a formal point of view, to speak of an »atmosphere» within the fluid — or colloidal — phase, in which the centres of low oxygen pressure must be localized.

The degree of »aeration» in a soil, that is, the efficiency of the oxygen supply to its different parts, must depend largely on the size of the coherent masses of non-gaseous material between the air-filled canals, or, in other words, on the degree of ramification of the gaseous ventilation system of the soil. One can very well imagine two soils showing the same oxygen content of the air in the pore spaces, but of which one is on the whole badly, and the other well aerated. Figures indicating the oxygen content in the free air of the soil must therefore be quite inadequate as a measure of the aeration of the soil mass as a whole.

A better measure for the oxygen supply of the soil mass is probably the oxygen content of the water in the soil, because this represents at least a part of the fluid phase. But samples of soil water for analysis can hardly be obtained from the interesting depths in normal soils.

A really adequate expression for the degree of aeration should be a curve showing the distribution of the soil volume — perhaps still better of the volume apart from the air-filled space — in classes of difficulty in regard to the conveyance of oxygen. One would have to plot, for instance, percentages of the soil volume against a measure for the diffusion resistance. A simple approximate expression for this resistance that might perhaps be acceptable would be the distance to the nearest air canal in the soil, and so one might conceivably express in one figure the degree of aeration for the soil as a whole by means of the mean distance between a point chosen at random and the nearest air canal in the soil. It seems at present, however, to be impossible to establish any of these or any other even approximately correct expression for aeration.

Moreover, in order to gain a correct idea of the characteristics of a soil as such in regard to its aeration, it would be necessary to determine the value of one of the proposed expressions for different water contents of the soil, as all features of importance for the conditions of aeration change radically with the water content. Every soil must be badly aerated when water-logged. Practically every soil, except perhaps the heaviest loams, must be well aerated when very dry. What is ecologically important is undoubtedly the behaviour of the soil with normally occurring intermediate water contents. It is certain that there are great differences between soils in regard to the way in which they are moistened. A soil with a favourable crumbly structure, a »mull», will not often suffer seriously from water, its main ventilation system of rather wide interstices between the compound particles

¹ The diffusion is about 10,000 times slower in water than in air. The surface resistance (cf. ROMELL 1926 p. 130—132, 137—139, and the literature cited there) does not seem to be known in the case of oxygen.

resting practically intact up to the saturation point (the water content corresponding to the water holding capacity). Wetting of a soil of unigranular structure is likely to produce a blocking up of most of the narrow gas-filled interstices; at the point of saturation, at the latest, the soil will easily become entirely waterlogged, except for some sparse cracks, root canals and the like. To characterize the behaviour of a soil in its relation to water, its air-holding capacity at the saturation point has been recommended (BURGER 1922, 1927). Nor, however, is this expression theoretically satisfactory for denoting the degree of aeration of the soil as a whole, not even with the relatively well-defined water content which the expression concerns. The air-holding capacity is merely an expression for the relative volume occupied by air when the soil is saturated with water up to its water-holding capacity. Within wide limits, however, the relative volume of air cannot be a matter of any direct importance, the main resistance to the oxygen supply not being offered by the diffusion resistance in the gaseous phase. According to the above considerations, the most important point must rather be the configuration of the air volume. With a given air capacity, a soil must be best aerated at the saturation point, if its air-filled volume forms a system of intercommunicating pores just a little wider than the widest pores which by capillary action retain water and remain water-filled. If the same air volume is composed of wider canals the ventilation system will evidently be less ramified and the aeration of the soil as a whole less good. If, finally, the air volume is made up of mere air bubbles, each surrounded by water or colloids, the aeration must be very poor, whatever the total volume of the air-filled space may be.

From an ecological point of view it is true that the soil organisms have to a certain extent the faculty of seeking places with a sufficient oxygen content — the roots and probably the fungus mycelia by aerotropically directed growth, the bacteria by the forming of mobile aerotactic stages. Nevertheless, the activity in the soil will obviously be quite different if 50 % of the soil volume presents favorable conditions for the more important aerobic forms than if only a few percents of the volume offer such conditions. Moreover, we now know that practically the entire »autonomous» bacterial flora of the soil consists of non-mobile, colony-forming cocci. This, according to the author's observations by means of WINOGRADSKY's direct microscopical method, also holds good for Swedish raw-humus forest soils, where a surprisingly rich bacterial vegetation of WINOGRADSKY's »autonomous» type has been found.

The difficulties involved in employing the results of the soil air analyses as an expression for the degree of aeration to the soil as a whole should not, however, let the evidence which they have furnished be wasted. If analyses of the soil air have shown the ordinary high values of oxygen content in a soil, this in any event implies that at the depth investigated there is still present a gas phase having an approximately normal oxygen content. That is to say, the aeration of the soil is at this depth practically as good or as poor as would be the case if the soil were spread out in a thin layer in the air, without changing its structure and water content. It is true, that such an operation is hardly possible, but on the other hand it is likely that a preparation of the soil of the superficial character such as cursorily carried out in the forest has very little influence on the finer structure of the soil. If

the soil is not very thoroughly worked up, the only reason for expecting a real improvement in the soil aeration from a preparation of the soil seems to me to be that the water content may be on the average somewhat lowered.

It is also clear that a soil layer, in the gas-filled pores of which the oxygen content is that of the atmosphere, cannot be considered as hindering the aeration of the subjacent layers. The author's conclusions (1922) regarding the assumed effect of a normal raw humus on the aeration of the soil are still fully valid. They are, moreover, corroborated by TAMM's analyses of the ground water in the raw-humus-covered moraines in Norrland. This water was as a rule not found to show any marked oxygen deficiency under normal raw humus, though at the same time some analyses exemplified the well-known reducing effect of a water-logged humus layer on the percolating water.

In his recent study on Danish heaths, P. E. MÜLLER (1924, p. 79) laid great stress upon the, in many cases, favourable results of a soil preparation in the case of raw-humus soils. He considered this a proof that the aeration must be poor in these soils in their natural state, as he could think of no other factor than an improvement in the soil aeration producing the favorable effect. This is certainly not a very cogent proof. Experience has shown that the mixing of the soil is favorable also in »spontaneous cultures» of bacteria in soil in Petri dishes. Here it seems quite impossible to imagine improved aeration as the cause, the soil being from the beginning in an ideal physical state and the structure being hardly changed by the renewed mixing. The effect is most probably explained by the heterogeneity of the soil. Nutrient is abundant in some places and lacking in others, even in the best mixed soil, and the infection of each food deposit by the right bacteria is a matter of chance. After some time the unworked soil must present the picture of rich but starving cultures side by side with unexploited deposits of food. A fresh mixing of the soil will then very likely bring about a phenomenon in the soil somewhat corresponding to the effect of the great migrations of people in the human world, and renewed activity will ensue. As to the cursory treatment of forest soils — generally resulting in merely turning over a turf here and there and scratching the raw humus sward — it can hardly be compared with the mixing of the soil in the »spontaneous cultures», but the effect may be due to a slight improvement in the supply of food-salts for the raw humus organisms, owing to the partial mixing or covering of the raw humus by mineral soil. This explanation was at one time (1917, chapter XI) suggested by HESSELMAN.
